

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 18 (1965)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Développements récents des chambres à traces pour les mesures des particules à haute énergie : et proposition d'un nouveau système  
**Autor:** Maeder, Daniel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-739187>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS DES CHAMBRES A TRACES POUR LES MESURES DES PARTICULES A HAUTE ÉNERGIE, ET PROPOSITION D'UN NOUVEAU SYSTÈME

PAR

**Daniel MAEDER**

---

## 1. INTRODUCTION

Dans l'article précédent [1], a été décrite une chambre à étincelles à système optique pour photographier les événements. Les avantages (*a*) et les inconvénients (*b*) de l'enregistrement photographique sont bien connus:

- a*) bonne précision spatiale; grande densité d'information stockée sur film ( $10^4$  événements par bobine); bonne résolution spatiale (multiples traces)
- b*) attente (1 à 2 jours) entre la prise des photos et leur disponibilité; dépouillement, ou bien lent (méthode manuelle-visuelle) ou bien coûteux (méthode automatique exigeant un grand ordinateur muni d'équipement spécial).

Le choix d'un tel système « classique » nous a été imposé par le désir de commencer dans un bref délai notre expérience de diffusion nucleon-nucleon. Ceci nous a permis de limiter les travaux de développement à un minimum, en profitant de l'expérience que les chercheurs du CERN et des autres grands laboratoires avaient déjà acquise dans ce type de chambres à étincelles.

Dans le présent article, nous allons d'abord rappeler les différents principes de mesure des trajectoires de particules. Les divers systèmes dits « chambres à étincelles » seront ensuite passés en revue. Nous discuterons aussi les problèmes d'ambiguïté que posent les « chambres à fils ». Finalement, sera proposé un nouveau système actuellement à l'étude à notre Laboratoire.

## 2. APERÇU GÉNÉRAL SUR LES MÉTHODES DE DÉTECTION DES PARTICULES

La classification donnée dans le tableau 1 est basée sur les possibilités de « triggering »:

- A*) Appareils qui peuvent eux-mêmes déceler le passage d'une particule; indispensables pour la commande des appareils de la catégorie *B*.

TABLEAU I

Toutes les indications numériques ne représentent qu'un ordre de grandeur.

Cat.	Type d'appareil	temps sensible $t_s$ (sec)	temps de retard* $t_r$ (sec)	temps mort $t_m$ (sec)	dimension typique (m)	résolution spatiale (m)	remarques
A	Compteur Geiger	continu, moins le temps mort ( $t_m$ multiplié par le nombre de déclenchements/sec.)	$10^{-5}$	$10^{-3}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	trop lent
	Chambre à Ionisation		$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	nécessite amplificateur ultrasensible
	Compteur Proportionnel		$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	nécessite amplificateur assez sensible
	Compteur à Scintillations		$10^{-8}$	$10^{-8}$	$10^{-1}$	$10^{-3}$	instrument universel**
	Compteur Cerenkov		$10^{-8}$	$10^{-8}$	1		selectif aux angles et aux vitesses
	Semiconducteurs		$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-2}$		en voie de perfectionnement
	Chambre à Scintillations		Encore au stade d'essais (intensité des traces très faible)				
B	Chambre à étincelles	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-2}$	1	$10^{-3}$	voir texte § 3 pour détails
C	Chambre de Wilson	$10^{-1}$	$10^{-1}$	$10^{+2}$	1	$10^{-4}$	moyens gazeux (+ traces de $H_2 O$ )
	Chambre à Bulles	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	1	$10^{-4}$	liquides: $H_2$ ou $D_2$ purs, etc.
D	Emulsion photographique	continu	—	0	$10^{-2}$	$10^{-6}$	ne distingue pas le temps

\* A : depuis particule au signal de sortie; B, C: depuis commande à la trace visible.

 \*\* Grands signaux ( $\sim 0,1 A$  à la sortie d'un photomultiplicateur), grand choix de substances (solides anorganiques ou organiques; liquides; gaz) et de formes (blocs; plaques; filaments).

- B) Appareils qui ne deviennent sensibles (pendant une durée  $t_s$ ) que sur commande par un signal extérieur, à fournir par un détecteur  $A$ .
- C) Appareils dont le mécanisme est trop lent pour déceler une particule sur commande, étant donné qu'une telle commande serait fournie dès que possible mais sûrement *après* le passage de la particule. Ils peuvent être sensibilisés à des moments voulus (p. ex. au moment d'intensité maximale d'un faisceau) mais sans savoir s'il se produira, pendant  $t_s$ , un événement intéressant.
- D) Accumulation d'enregistrements superposés, sans possibilité de distinguer les événements individuels par des mesures du temps.

Plusieurs détecteurs  $A$  peuvent être disposés le long du parcours des particules afin de former un « télescope ». Un assemblage constitué de plusieurs télescopes peut en principe distinguer entre plusieurs trajectoires que les différentes particules peuvent suivre et s'appelle donc « hodoscope ». De tels hodoscopes, consistant en un grand nombre d'appareils individuels dont chacun est coûteux, arrivent à peine à une résolution spatiale comparable à celle obtenue sous  $B$ ,  $C$ ,  $D$ . Le seul avantage des appareils  $A$  est la capacité de « self-triggering »; mais ils peuvent aussi être utilisés en « external triggering », par un « gating » (p. ex. de l'alimentation, ou des signaux de sortie). Le but d'un dispositif « gating » rapide est d'améliorer le rendement en événements intéressants par déclenchement (applicable pour  $A$  et  $B$ ). Cette possibilité n'existe pas pour les cas  $C$ ,  $D$ ; en revanche, ces dernières méthodes fournissent des enregistrements photographiques de précision et résolution spatiales les plus poussées (de l'ordre  $10^{-4}$ ); ils sont indispensables pour la mesure d'événements compliqués et à haute précision, mais le dépouillement des photographies coûte cher.

### 3. CLASSIFICATION DES CHAMBRES A ÉTINCELLES [2, 3]

#### 3.1. *Chambre « classique »* [1, 4].

Fortes étincelles entre plaques parallèles ( $\sim 100 \mu\text{Clb}$ ), enregistrement sur film photographique. Nécessite un système optique compliqué si l'on désire un enregistrement en coordonnées cartésiennes ( $x$ ,  $y$ ) pour un grand nombre de plans ( $z$ ). Max.  $\sim 20$  photos/sec (limité par les caméras). Problèmes de dépouillement des photos.

#### 3.2. *Chambre à lecture par Vidicon* [5, 6].

Comme 3.1., mais le film est remplacé par un tube de T.V. relié à un système de traitement de l'information\*. Max.  $\sim 100$  photos/sec., limité par les problèmes de codage et de transfert des informations (surtout dans le cas de multiples traces).

### 3.3. Chambres soniques [7, 8].

Étincelles détectées par plusieurs microphones (min. 4) aux bords de chaque plan. Les retardements des ondes soniques sont digitalisés et évalués \*. Max.  $\sim 100$  événements/s (limite: même cause que 3.2). Difficile de distinguer multiples traces.

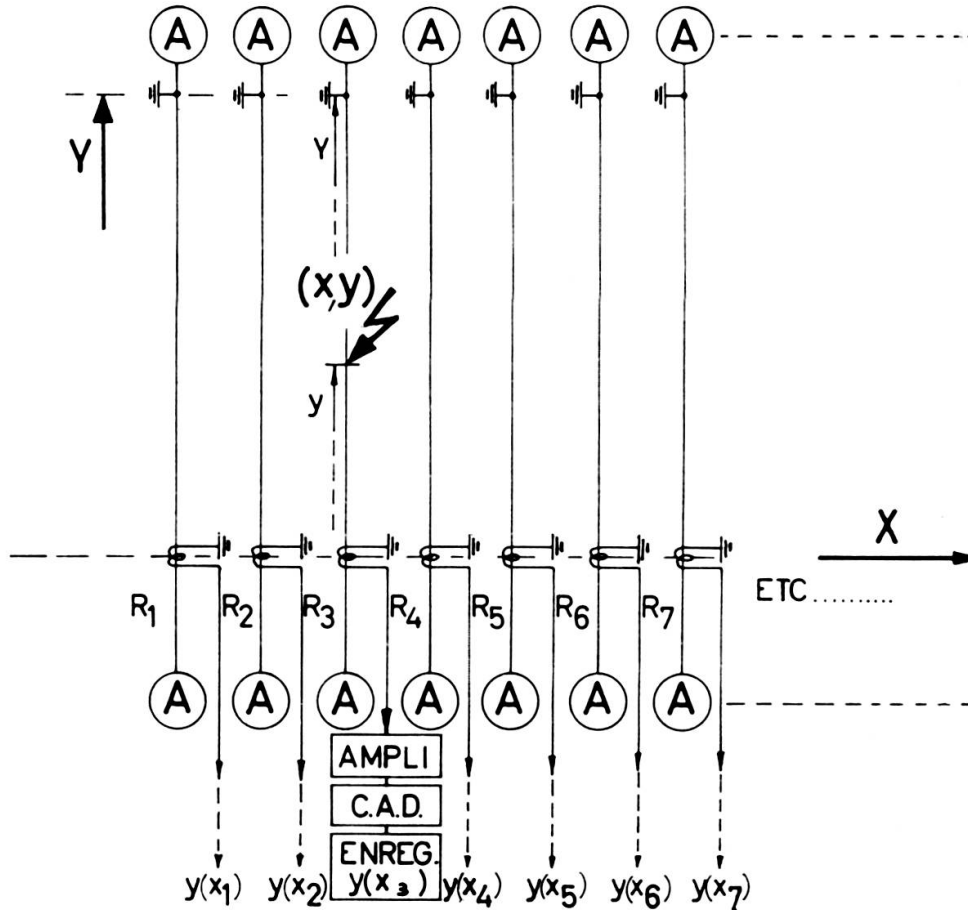


Fig. 1.

*Chambre à fils magnétostrictifs, système universel proposé par Giannelli.*

$R_{1, 2, 3}$  = bobines réceptrices, une sur chaque fil. La partie électronique (amplificateur, digitalisateur des intervalles de temps, système de mémoire-tampon et d'enregistrement) a été esquissée pour le fil n° 3 seulement. Il serait possible d'enregistrer plusieurs étincelles par fil, mais la partie électronique deviendrait alors plus compliquée. Il faut autant de circuits identiques qu'il existe de fils au total (donc,  $10^2$  à  $10^3$  par plan).

### 3.4. Chambre à fils « orthodoxe » [9, 10, 11, 12].

Étincelles faibles ( $\sim 1 \dots 10 \mu\text{Clb}$ ) entre un plan de fils parallèles (distances  $\Delta x \sim 1 \text{ mm}$ , nombre  $10^2$  à  $10^3$  par plan) et une plaque (ou un deuxième plan de fils). La détection des courants dans les fils individuels permet de déterminer l'abscisse de chaque étincelle ( $x_1, x_2, x_3, \dots$ ) d'un événement à multiples traces. Chaque fil est

\* Ou bien enregistrement sur bande magnétique, ou bien mieux encore: entrée directe dans un assez grand ordinateur « on-line », si disponible.

équipé d'un élément de mémoire temporaire (p. ex. un tore de ferrite) pour retenir l'information jusqu'au transfert \*. A part les difficultés d'ambiguïté (voir section 4),

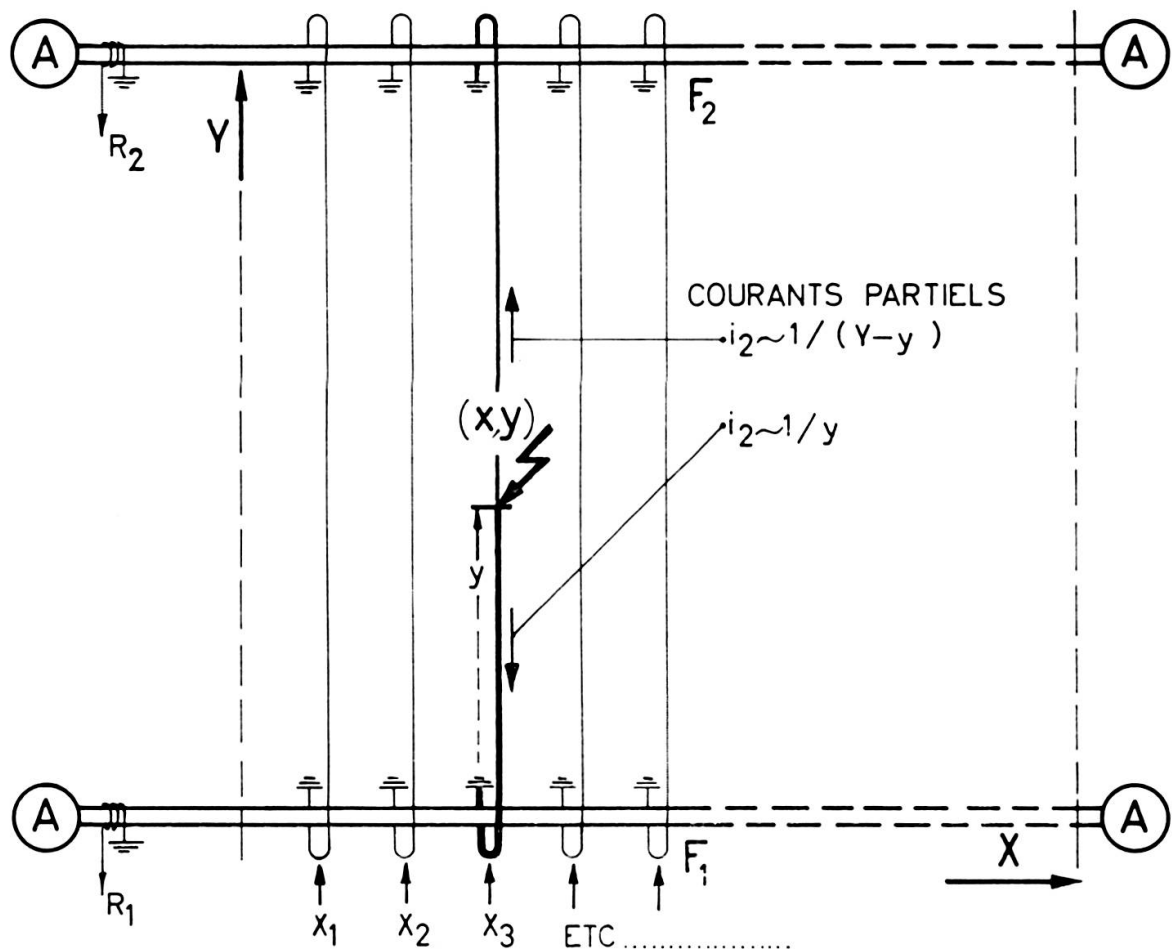


Fig. 2.

*Chambre à fils à lecture par fils auxiliaires magnétostrictifs, système proposé par Perez-Mendez et Pfab.*

$F_{1,2}$  = rubans ou fils magnétostrictifs

$R_{1,2}$  = bobines réceptrices

Proposition originale: un seul  $F$ , une seule  $R$ ; le retard donne la ou les positions  $x$ . Expérimenté.

Proposition complétée: deux  $F$ 's, deux  $R$ 's; les retards donnent les  $x$ , les rapports d'amplitudes donnent les  $y/(Y-y)$ . Non expérimenté.

Il faut seulement 1 (ev. 2) circuits électroniques (amplificateurs, digitalisateurs, mémoires et canaux d'enregistrement); en revanche, il semble difficile d'éviter les ambiguïtés.

il y a de grands problèmes de codage, de conversion parallèle-série, et de transfert des données. L'équipement électronique nécessaire pour lire  $6 \cdot 10^4$  fils à été estimé [13] à un demi-million de francs. Notons que la faible énergie des étincelles permettra de réduire  $t_m$  à  $\sim 10^{-3}$  sec.

\* Ou bien enregistrement sur bande magnétique, ou bien mieux encore: entrée directe dans un assez grand ordinateur « on-line », si disponible.

### 3.5. Chambre à fils, codés [14].

Comme 3.4., mais les fils sont groupés et traversent plusieurs tores de ferrite. Pour  $n$  fils, on aurait besoin de  $1 + \log_2 n$  ferrites seulement, mais les difficultés supplémentaires (impossibilité de distinguer multiples traces) semblent rendre impraticable un tel système.

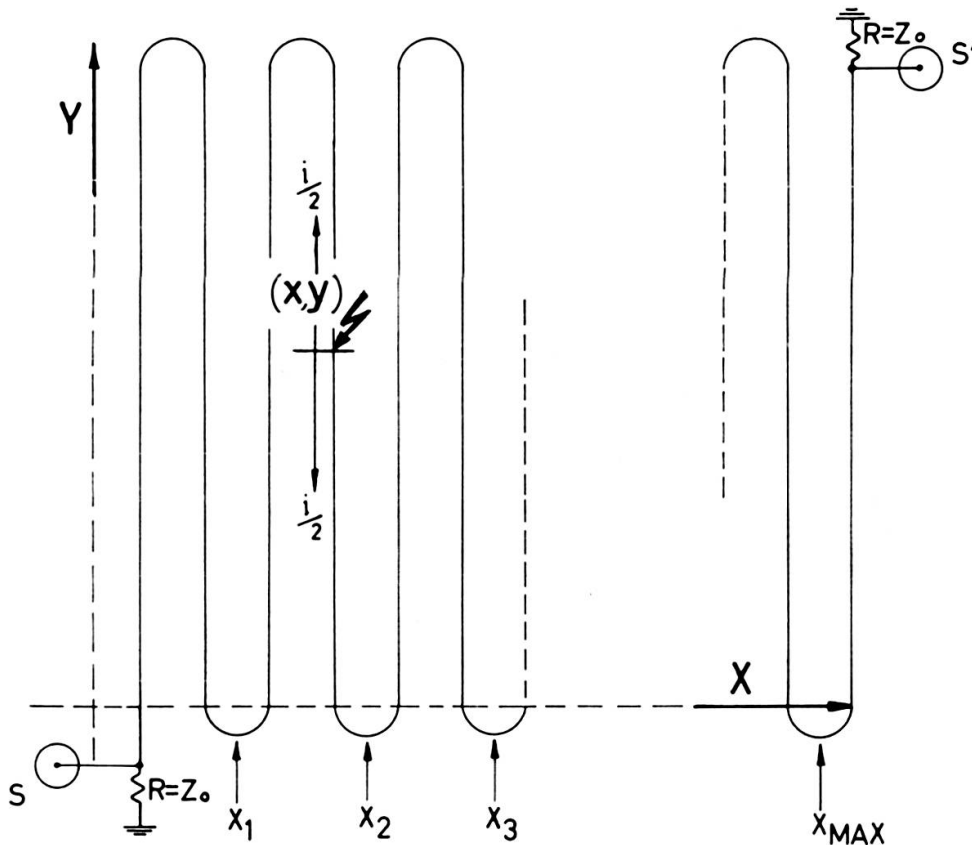


Fig. 3.

*Chambre à « plaque » en forme de ligne de retard, proposée par Charpak.*

$S, S'$  = sorties électriques : retard ( $S$ )  $\sim x$ , retard ( $S'$ )  $\sim X - x$ . Le fil, esquissé ici en forme zig-zag, repose sur une plaque conductrice qui sert de « masse » électrique (entre plaque et fil, il y a une couche isolante, d'épaisseur convenable, afin d'obtenir un  $Z_0$  de l'ordre  $10^2 \Omega$ ). Le fil pourrait aussi bien être bobiné autour de la plaque.

### 3.6. Chambre à fils magnétostrictifs [15, 16].

Comme 3.4., mais les fils consistent en un matériau ferromagnétique (Ni, ou Fe-Co). Les ondes de choc créées aux 2 endroits  $y$  et  $Y$  (voir fig. 1\*\*) se propagent vers les extrémités des fils ou elles sont décelées par des récepteurs (individuels sur chaque fil). Le numéro du fil donne la ou les abscisses, le retard ( $Y$  contre  $y$ ) la ou les ordon-

\*\* Notes concernant les figs 1, 2, 3, 5 :  $A$  signifie des supports entre lesquels les fils sont étendus, absorbant les ondes de choc afin de supprimer des signaux parasites causés par éventuelles réflexions des ondes. Les détails des circuits magnétiques autour des bobines réceptrices (y compris un dispositif pour polariser le fil magnétostrictif), ont été supprimés.

nées. **Avantage:** un seul plan donne tous les  $(x, y)$  même de multiples traces sans ambiguïté. **Problèmes:** grand nombre de récepteurs dont chacun nécessite un amplificateur sensible et un système de digitalisation et de mémoire indépendante.

### 3.7. *Chambre à fils à lecture par fils auxiliaires magnétostrictifs* [17].

Comme 3.4., mais chaque fil entoure un fil auxiliaire magnétostrictif avant d'être lié à la masse (fig. 2). Le retard du signal reçu à l'extrémité du fil auxiliaire donne la position  $(x_i, x_k, \dots)$  du fil ou des fils qui ont reçu des étincelles. Dans une variante plus compliquée de ce système, on disposerait un fil auxiliaire le long de chaque bord du plan de fils. Suivant le principe de répartition des courants, les 2 fils auxiliaires recevraient des signaux partiels avec un rapport d'intensités qui devrait permettre en principe de déduire la position en  $y$ . Cette variante n'a pas encore été expérimentée, cependant il semble que l'obtention d'une bonne précision pour les  $y$  sera difficile. Donc, le système 3.7. donnera en pratique les positions en une seule dimension par plan (p. ex.:  $x$ ). De toute façon 2 étincelles qui tombent sur un seul fil ne pourront pas être distinguées ni localisées en  $y$ .

### 3.8. *Chambre à électrodes en forme de lignes de retard électromagnétiques* [18].

Suivant une proposition de Charpak, la subdivision d'une « plaque » en éléments de ligne de transmission (voir fig. 3) permet d'obtenir un retard assez long (de l'ordre de  $1 \mu\text{s}$ ) entre les 2 bords opposés de la plaque ( $x = 0$  et  $x = X$ ) afin de déduire les  $x$  avec une précision de l'ordre 1 mm. Les  $y$  doivent être fournis par une deuxième « plaque », orientée différemment. **Avantage:** Même des étincelles faibles donnent des signaux très forts. **Problèmes:** les retards doivent être mesurés à  $\sim 10^{-9}$  sec près (difficile surtout quand il faut distinguer de multiples étincelles).

### 3.9. *Chambre à ionisation secondaire* [19].

Là où des étincelles se sont produites, une ionisation secondaire entre 2 plans de fils croisés est déclenchée suivant une proposition de Neumann. Elle peut être maintenue pour une période voulue, assez longue pour permettre l'assignement d'un certain  $y_k$  à un certain  $x_l$  au cas de multiples étincelles. **Problèmes:** maintien de la décharge, lecture individuelle, codage, enregistrement. Au stade d'essai.

## 4. LE PROBLÈME D'AMBIGUÏTÉ

Tout système qui ne fournit, en utilisant un seul plan, ( $z = z_0 = \text{const}$ ), que les valeurs  $x$  (même plusieurs  $x_k, x_l, \dots$  bien distincts en cas de multiples étincelles) doit être complété au moins par un 2<sup>e</sup> plan voisin qui fournit les  $y$ . Cependant, un tel « dispositif minimum » ne suffit pas pour localiser plusieurs étincelles: pas même une simple paire, sauf dans les cas dégénérés (ou bien  $x_1 = x_2$ , ou bien  $y_1 = y_2$ ).



Dans le cas général d'une paire,  $x_1 \neq x_2, y_1 \neq y_2$ , 2 interprétations à 2 étincelles, 4 à 3 étincelles et 1 à 4 étincelles seront possibles, indiqué par des rondelles sur fig. 4A. Un triple des deux coordonnées,  $x_1 \neq x_2 \neq x_3$  et  $y_1 \neq y_2 \neq y_3$ , permettrait même 6 interprétations à 3 étincelles, ou 36 à 4 étincelles, etc. On tâche d'éliminer les fausses interprétations à l'aide d'un 3<sup>e</sup> plan voisin ( $z \approx z_0$ ) qui fournit  $u$  (orienté à 45° contre

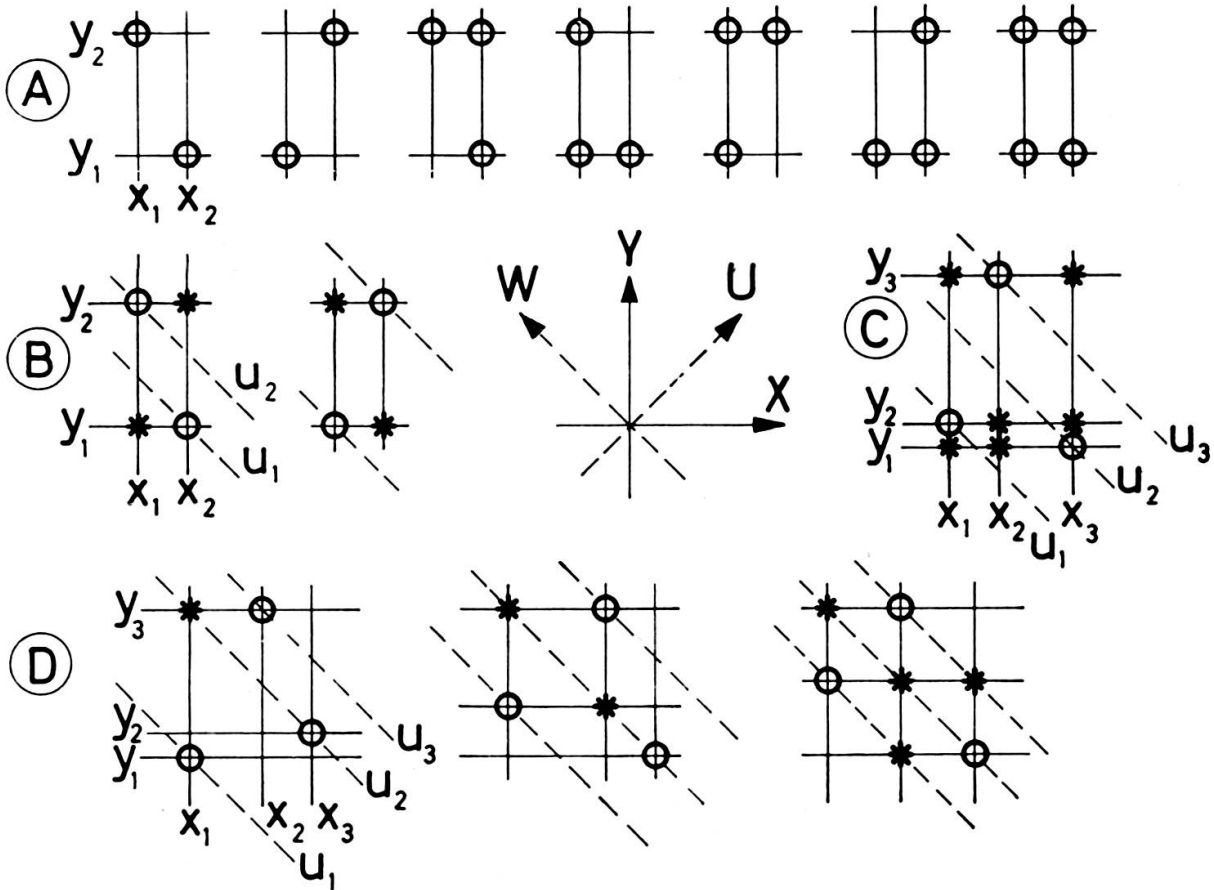


Fig. 4.

*Ambiguïtés de localisation des multiples traces*

- A) 2 plans  $(x, y)$  laissent 7 interprétations d'une paire des 2 coordonnées;
- B) 3 plans  $(x, y, u)$  déterminent uniquement une paire;
- C) un triple des 3 coordonnées  $(x, y, u)$  détermine uniquement 3 positions (sauf cas D). 6 fausses positions compatibles avec les  $x, y$  mais exclues par les  $u$  sont marquées par des astérisques;
- D) quelques cas dégénérés d'un triple des 3 coordonnées. Les fausses positions (astérisques) peuvent être exclues si un 4<sup>e</sup> plan voisin fournit les  $w$ .

$x$ ) ou encore  $w$  (orienté à 135° contre  $x$ ), illustré par figs 4B et 4C. Les ambiguïtés ne sont pas complètement supprimées, mais la probabilité des cas dégénérés est largement diminuée. Suivant une étude théorique de Roberts [20], la probabilité d'une ambiguïté parmi  $m$  étincelles réparties au hasard dans un dispositif de  $N$  fils «  $x$  »,  $N$  fils «  $y$  », et  $2N$  fils «  $u$  », est approximativement:

$$P \approx m(m-1)(m-2)/4N^3$$

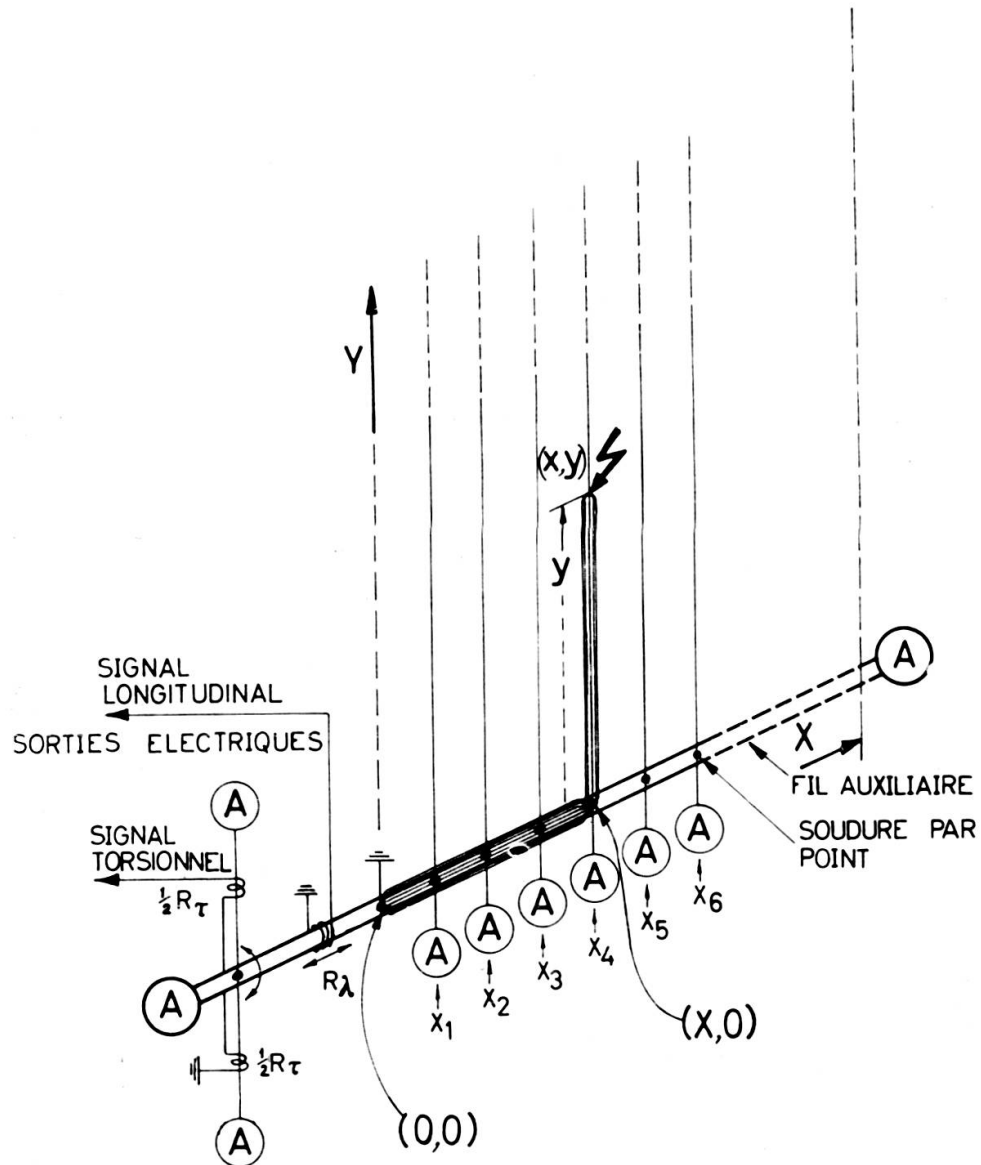


Fig. 5.

*Nouveau système magnétostrictif permettant de déterminer, dans un seul plan, les  $x$  et les  $y$  correspondants à plusieurs étincelles.*

Les fils du plan de chambre, parallèles à l'axe  $Y$ , sont soudés à la surface d'un fil auxiliaire, plus épais, qui coïncide avec l'axe  $X$ , et qui est lié à la masse près de  $x = 0$ . La partie du système parcourue par le courant d'une étincelle (durée  $\sim 10^{-7}$  sec) est marquée par des traits supplémentaires sur les fils respectifs, indiquant un « gonflement » de ces fils.

$R_\tau$ ,  $R_\lambda$  = bobines réceptrices pour signaux longitudinaux, resp. torsionnels se propageant dans le fil auxiliaire.

si  $m \ll N$ . Par ex.,  $P \approx 1,5 \cdot 10^{-5}$  pour  $m = 5$ ,  $N = 100$ . Comme le montre la fig. 4D, la plupart de ces cas normalement déjà rares pourraient être éliminés en utilisant les coordonnées  $w$  fournies par un 4<sup>e</sup> plan voisin.

En revanche, le manque inévitable de sensibilité parfaite (souvent, une étincelle manquera dans l'un ou l'autre des 3 ou 4 plans) donne lieu à de fausses interprétations

avec un tel système. Un système donnant l'information équivalente, (donc, les correspondances  $x_k$  à  $y_l$ ) basé sur les étincelles *d'un seul plan*, serait toutefois préférable.

##### 5. PROPOSITION D'UN NOUVEAU SYSTÈME $(x, y)$ A UN SEUL PLAN

Notons d'abord que la chambre de Charpak (fig. 3) pourrait convenir si on réussissait à ralentir la propagation de l'onde électromagnétique d'un facteur  $10^2$  à  $10^3$ , tout en conservant la bande passante de quelques  $10^8$  c/s. Ceci paraît impossible.

D'autre part, les ondes mécaniques créées dans un fil magnétostrictif auraient une vitesse convenable (5 m/ms) pour un tel système, mais là il serait difficile de réaliser un montage qui devrait tendre les fils en ligne zig-zag sans causer d'atténuations, ni de réflexions. Toutefois, la dispersion des signaux limiterait la longueur totale d'un fil à l'ordre de 10 à 20 m, même dans les meilleures conditions (un seul plan de  $1 \text{ m}^2$  devrait donc être subdivisé en  $\sim 50$  zones, dont chacune fournirait indépendamment des signaux à un système électrique assez compliqué).

Le système magnétostrictif simple (fig. 1) nécessiterait des équipements électroniques encore plus nombreux. Il en est de même pour la proposition d'utiliser une mesure du rapport des intégrales des courants partiels allant vers les 2 extrémités de chaque fil qui aurait reçu une étincelle, proposition basée sur les résultats d'une étude par Charpak, Favier et Massonet [21]. Les complications d'un tel système électronique sont mises en évidence sous [20].

Pour ces raisons, nous avons commencé l'étude d'un nouveau système, basé sur l'utilisation des ondes élastiques longitudinales et torsionnelles (les deux créées par magnétostriction) afin de distinguer les coordonnées  $x$  et  $y$  fournies par un seul plan de fils. La fig. 5 montre le dispositif général: au moment d'une étincelle, il se produit des perturbations élastiques aux endroits  $(x, y)$ ,  $(x, o)$  et  $(o, o)$ , qui se propageront en ondes longitudinales sur les fils respectifs. Les chocs sur un fil de la chambre donnent lieu, à l'arrivée de l'onde au croisement avec le fil auxiliaire, à des ondes torsionnelles dans ce dernier. Pour les matériaux utilisables pour de telles applications (Ni; Acier; alliages Fe-Co) les vitesses de propagation sont toujours assez proches des valeurs suivantes:

$$v_l \approx 5000 \text{ m/s} = 1 \text{ m en } 200 \mu\text{s (longitudinales)}$$

$$v_t \approx 3100 \text{ m/s} \approx 1 \text{ m en } 320 \mu\text{s (torsionnelles)}$$

Posons  $1/v_l = \lambda$ ,  $1/v_t = \tau$  comme abréviations. Une étincelle produite à l'instant  $t = 0$  à la position  $(x, y)$  provoque donc des signaux aux instants suivants, et avec signes opposés (au moins dans le cas de l'alliage Fe-Co) indiqués par + ou - :

Système de réceptrices (R)		R longitudinal		R torsionnel	
N°	placées près de	+	-	+	-
1	$x = 0, y = 0$	$t = 0$	$\lambda x$	$\tau x$	$\tau x + \lambda y$
2	$x = X, y = 0$	$t = \lambda(X-x)$	$\lambda X$	$\tau(X-x)$	$\tau(X-x) + \lambda y$

Des 4 signaux longitudinaux, 2 sont des signaux de référence qui peuvent servir de contrôle (0 et X), les 2 autres fournissent chacun  $x$ , sans intervention de  $y$ . Des 4 signaux torsionnels, 2 dépendent seulement de  $x$  (l'un contient la constante  $X$  connue), et chacun des 2 qui restent est décalé de  $\lambda y$  par rapport à son partenaire

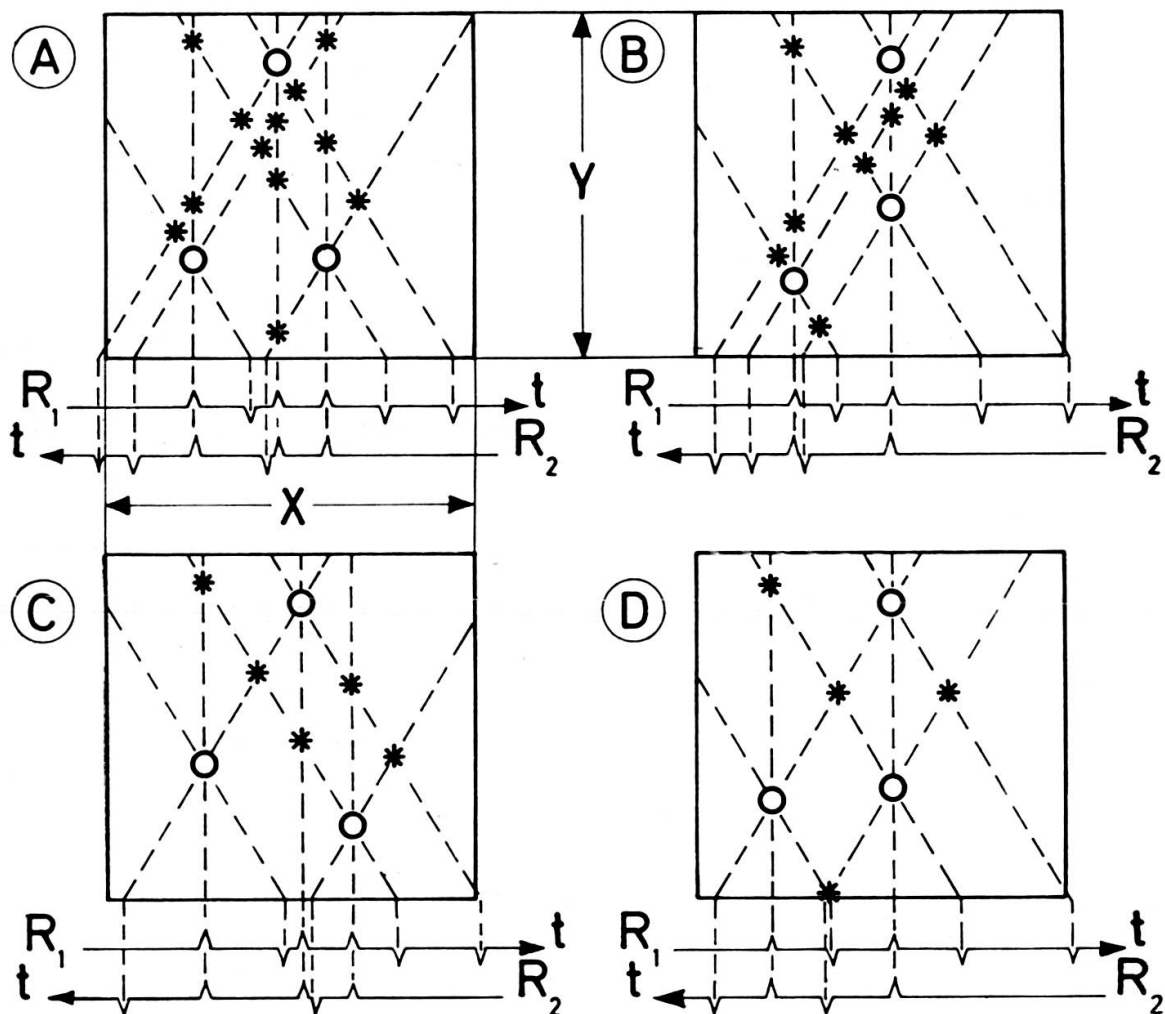


Fig. 6.

*Reconstruction des positions  $(x, y)$  de 3 étincelles,*

à partir des signaux torsionnels reçus par  $R_{1\tau}$  et  $R_{2\tau}$ , en admettant  $\lambda/\tau = 0,60 = \text{tg } 31^\circ$ . Seuls les croisements à trois lignes sont interprétés comme vraies étincelles (cercles); les croisements à 2 lignes sont marqués par astérisques.

A) Cas général; B, C, D) cas dégénérés.

de signe opposé provenant de la même réceptrice. On obtient donc 2 relations pour assigner un certain  $y$  à un  $x$  donné.

La probabilité d'ambiguïtés non-solubles est diminuée dans la même mesure que si l'on utilisait 3 plans dont 2 se croisent à des angles de  $\pm \operatorname{artg} \lambda/\tau$  par rapport au premier. A titre d'illustration, la fig. 6 montre quelques cas de reconstruction graphique à partir des séries de signaux reçus dans  $R_{1\tau}$  et  $R_{2\tau}$ . En principe, 2 seules réceptrices torsionnelles et 2 canaux d'enregistrement électronique suffisent donc à déterminer les positions d'un nombre arbitraire d'étincelles dans un plan. Il va de soi que les possibilités d'utiliser les signaux longitudinaux ne devront pas être négligées, car elles nous permettront une excellente protection contre des signaux parasites ou contre des éventuelles pertes de signaux. Nous sommes en train de construire un prototype de ce système extrêmement simple, capable de reconstruire plusieurs étincelles éclatées sur un plan d'environ  $0,1 \text{ m}^2$  ( $X \approx Y \approx 0,32 \text{ m}$ ). La digitalisation de toutes les étincelles sera terminée à la fin du retardement le plus long, soit  $t_{\max} = \tau X + \lambda Y = (105 + 65) \mu\text{s} = 0,17 \text{ ms}$ .

*Laboratoire de Physique nucléaire expérimentale  
de l'Université de Genève.*

#### BIBLIOGRAPHIE

1. GAUTSCHI, A., E. HEER, B. LEVRAT, D. MAEDER, J. F. RENEVEY, *Archives des Sciences*, 2, 18 (1965).
2. CRONIN, J. W. *Nucl. Instr. and Methods*, 20, 143-151 (1963).
3. ROBERTS, A. *Compte rendu du Coll. Intern. sur l'Electronique nucléaire*, p. 21 (S.F.E.R. Paris, 1963).
4. — *CERN 64-30*, p. 367 (1964).
5. GELERNTER, H. *Nuovo Cimento*, 22, 631 (1961).
6. PEREZ-MENDEZ, V. *CERN 64-30*, p. 361 (1964).
7. MAGLIC, B. C. *Nucl. Instr. and Methods*, 20, 165-167 (1963).
8. TAYLOR, A. E. *CERN 64-30*, p. 363 (1964).
9. KRIENEN, F. *Nucl. Instr. and Methods*, 20, 168-170 (1963).
10. NEUMANN, M. J. and H. SHERRARD. *I.R.E. Trans. Nucl. Sci.* NS-9, No. 5, 51 (1962).
11. FISCHER, J., G. COLLINS and W. HIGINBOTHAM. *Compte rendu du Coll. Intern. sur l'Electronique nucléaire*, p. 57 (S.F.E.R. Paris, 1963).
12. MILLER, D. *CERN 64-30*, p. 365 (1964).
13. KRIENEN, F. *CERN 64-44* (1964).
14. PIZER, I. *CERN 64-30*, p. 111 (1964).
15. GIANNELLI, G. *Frascati Congress*, May 1963 (LNF report 63/54).
16. — *Nuclear Instrum. and Meth.*, 31, 29 (1964).
17. PEREZ-MENDEZ, V. and J. M. PFAB. *UCRL-report* N° 11620 (21 August 1964).
18. CHARPAK, G. *Nucl. Instrum. and Meth.* 15, 318 (1962).
19. NEUMANN, M. J. *CERN 64-30*, p. 133 (1964).
20. ROBERTS, A. *CERN 64-30*, p. 287 (1964).
21. CHARPAK, G., J. FAVIER and L. MASSONET. *Nucl. Instr. and Meth.* 24, 501 (1963).